

Mgr inż. Roman CHUDY,
prof. dr hab. inż. Wit GRZESIK (Politechnika Opolska):

BADANIE ENERGOCHŁONNOŚCI TOCZENIA I NAGNIATANIA STALI UTWARDZONEJ

Streszczenie

Opisano nowe stanowisko badawcze do pomiaru mocy na wielozadaniowej tokarce CNC, oparte na torach pomiarowych utworzonych dla poszczególnych osi w środowisku LabVIEW. Przedstawiono rozkład zużycia mocy w procesie technologicznym obejmującym dokładne toczenie oraz nagniatanie stali utwardzonej. Dokonano oceny efektywności energetycznej z uwzględnieniem wymaganej chropowatości powierzchni po dokładnym toczeniu i nagniataniu.

Słowa kluczowe: toczenie, nagniatanie, energochłonność

THE STUDY OF ENERGY INTENSITY OF TURNING AND BURNISHING OF HARDENED STEEL

Abstract

The study describes a new test rig for power measurement on a multi-purpose CNC lathe, based on measurement channels created for individual axes in the LabVIEW environment. The distribution of power consumption in the technological process comprising precise turning and burnishing of hardened steel was presented. Energy efficiency with consideration to the required surface roughness after precise turning and burnishing was assessed.

Keywords: turning, burnishing, energy intensity

BADANIE ENERGOCHŁONNOŚCI TOCZENIA I NAGNIATANIA STALI UTWARDZONEJ

Roman CHUDY¹, Wit GRZESIK¹,

1. WPROWADZENIE

Efektywność wykorzystania energii w sektorze przemysłowym stanowi ważny czynnik wpływający na wysokość kosztów produkcji. Konsekwencją nieracjonalnego użytkowania energii jest nadmierne zużycie zasobów surowców energetycznych, problemy z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego, nadmierna emisja dwutlenku węgla oraz ograniczona konkurencyjność przedsiębiorstw [1].

Ze względu na ochronę środowiska naturalnego nowoczesne obrabiarki powinny [2]:

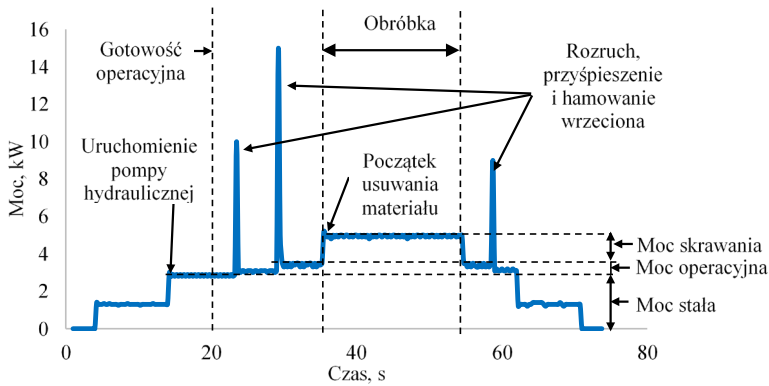
- zużywać jak najmniej energii elektrycznej na czynności pomocnicze realizowane przez układ hydrauliczny, chłodzący, transporter wiórów itp.,
- zużywać jak najmniej energii elektrycznej na wykonywanie ruchów posuwowych, przesuwnych i pomocniczych,
- zużywać jak najmniej smarów, olejów oraz płynów obróbkowych.

Na profil poboru mocy przez tokarkę sterowaną numerycznie (rys. 1) składają się charakterystyczne zakresy, takie jak [3]:

- moc stała wymagana do wprowadzenia wszystkich elementów obrabiarki, takich jak sterowanie, chłodzenie czy układ hydrauliczny w stan operacyjnej gotowości, ,
- moc operacyjna niezbędna do przemieszczania elementów obrabiarki w trakcie ruchów ustawczych bez kontaktu narzędzia z obrabianym przedmiotem (dojazd do materiału),
- moc skrawania niezbędna do usuwania naddatku przez ostrze narzędzia.

Na przykładowym profilu poboru mocy procesu toczenia (rys. 1) można zauważyć chwilowe piki wskazujące na rozruch, przyspieszenie lub hamowanie wrzeciona.

¹ Politechnika Opolska, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, 45-271 Opole, ul. Mikołajczyka 5



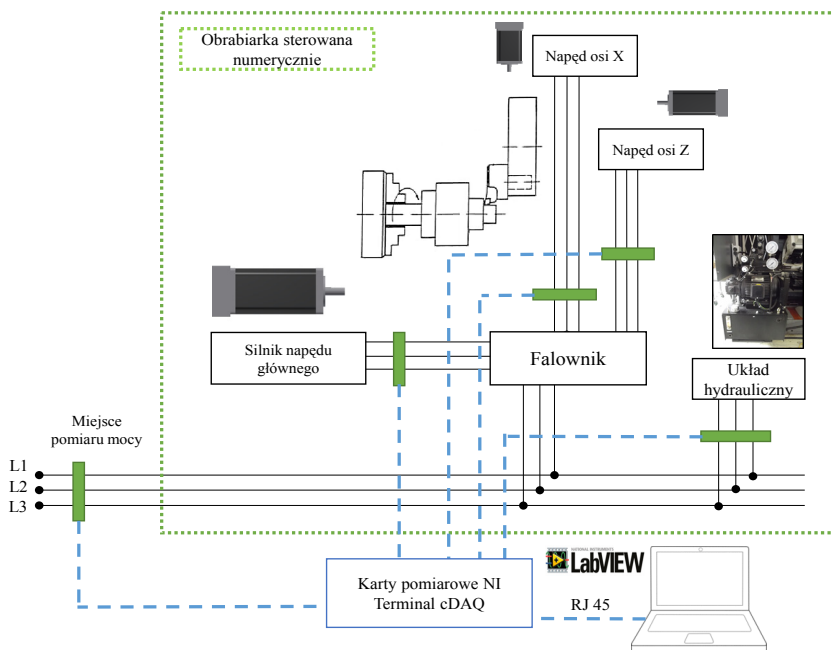
Rys. 1. Przykładowy profil poboru mocy przez tokarkę CNC [4]

2. WARUNKI BADAŃ

2.1. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko do pomiaru mocy skrawania oraz nagniatania zainstalowano na wielozadaniowej obrabiarkę CNC, która zaliczana jest do grupy urządzeń energooszczędnych sklasyfikowanych na liście Poleseff (w Programie Finansowania Energii Zrównoważonej w Polsce). Lista ta obejmuje urządzenia/maszyny wytwórcze przyczyniające się do co najmniej 20% oszczędności energii [5].

Konstrukcja stanowiska umożliwia pomiar w czasie rzeczywistym chwilowych poborów mocy przez obrabiarkę z sieci elektrycznej, a także pomiar ich wartości na poszczególnych silnikach napędów roboczych. Układ do pomiaru mocy zestawiony jest z precyzyjnych przetworników prądowych oraz napięciowych firmy Lem. Przetworniki umieszczono na fazowych przewodach zasilających tokarkę, co pozwala na pomiar mocy całkowitej pobieranej z sieci przez obrabiarkę. Sensory zamontowano także pomiędzy poszczególne silniki napędów (napęd główny, napędy osi Z oraz X) a regulator prędkości obrotowej (falownik) oraz w układ hydrauliczny (rys. 2). Przetworniki zasilane są symetrycznym napięciem $\pm 15V$. Sygnały z przetworników zbierane są za pomocą kart pomiarowych National Instruments umieszczonych w terminalu cDAQ NI. Terminal połączony jest łączem LAN z komputerem, gdzie w środowisku LabVIEW napisano program umożliwiający pomiar i analizę pobranych danych oraz następnie ich akwizycję.



Rys. 2. Schemat stanowiska do pomiaru mocy

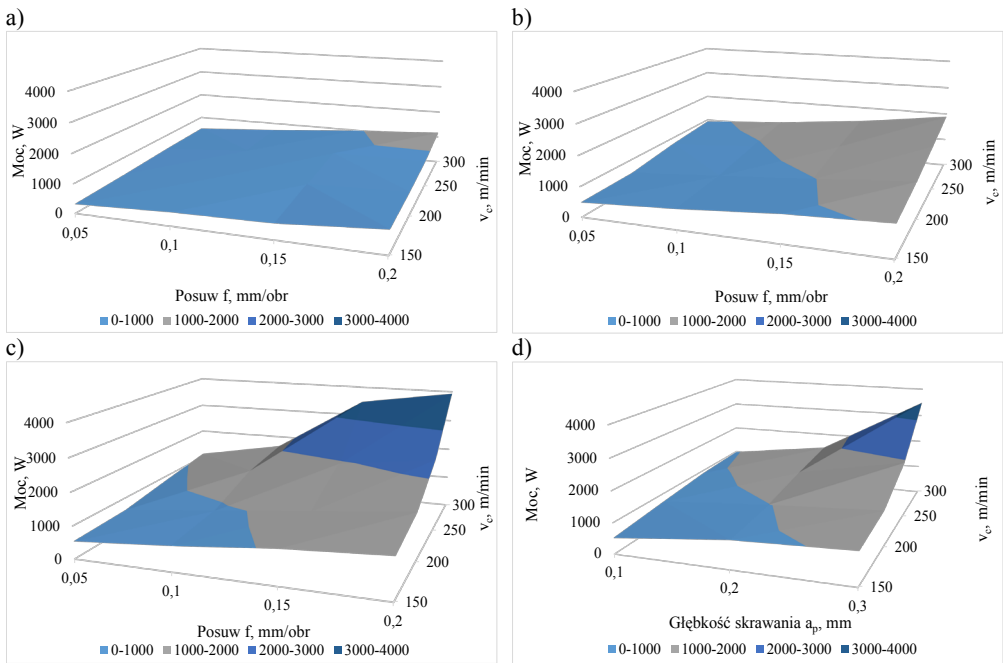
2.2. MATERIAŁ OBRABIANY ORAZ NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE I WARUNKI OBRÓBK

Toczenie oraz nagniatanie przeprowadzono na próbkach ze stali 41Cr4 o twardości około 55 ± 1 HRC. Do skrawania użyto płytek ostrzowych z narożami z CBN CB 7015 o symbolu TNGA 160408 S01030 firmy Sandvik Coromant. Wszystkie próby skrawania oraz nagniatania zostały przeprowadzone na 3-osiowej tokarce CNC GENOS L200E-M firmy OKUMA. Pomiar chropowatości wykonano za pomocą profilometru stykowego Hommel Tester T1000.

W pierwszym etapie przeprowadzono toczenie na sucho stali utwardzonej z parametrami: $v_c = 150 \div 300$ m/min, $f = 0,05 \div 0,2$ mm/obr, $a_p = 0,1 \div 0,3$ mm. W kolejnym etapie po toczeniu z parametrami: $v_c = 150$, $f = 0,1$ mm/obr (HT1), $f = 0,15$ mm/obr (HT2), $f = 0,2$ mm/obr (HT3), przeprowadzono nagniatanie toczne kulką ceramiczną Si_3N_4 o średnicy 12 mm z parametrami: $v_c = 30$, $f = 0,05$ mm/obr (B1), $f = 0,01$ mm/obr (B2), $f = 0,15$ mm/obr (B3).

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

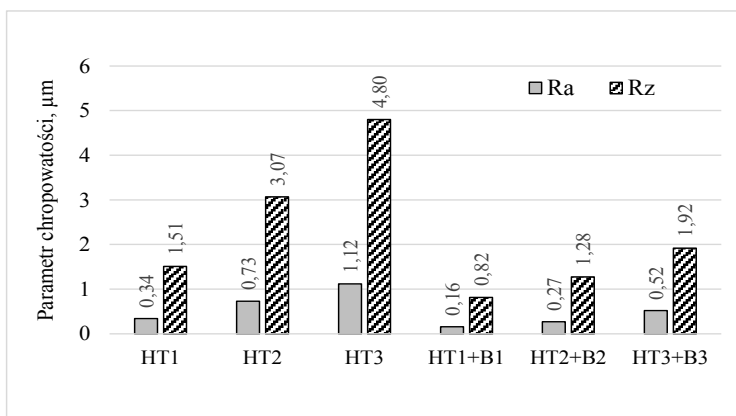
Celem badań doświadczalnych było określenie wpływu parametrów technologicznych toczenia oraz nagniatania stali utwardzonej na wartość użytej mocy oraz ocena energochłonności procesu.



Rys. 3. Porównanie wartości mocy dla zmiennych parametrów technologicznych: a) $a_p=0,1\text{mm}$, b) $a_p=0,2\text{mm}$, c) $a_p=0,3\text{mm}$, d) $f=0,15\text{ mm/obr}$

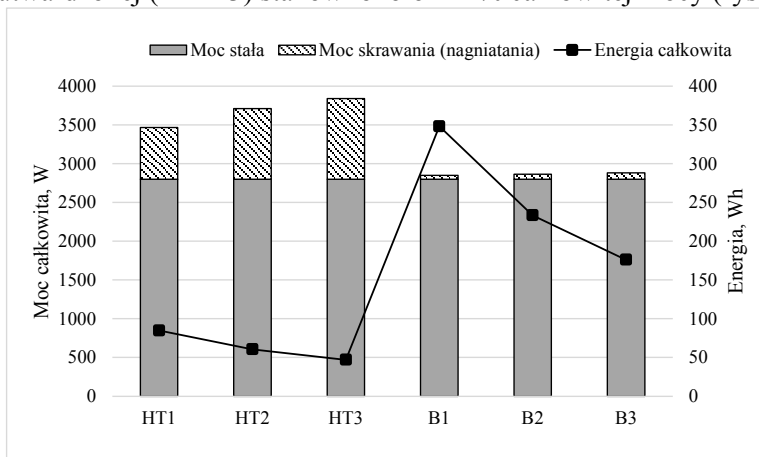
Analizując otrzymane wyniki można zauważyć znaczący wzrost zapotrzebowania mocy wraz ze wzrostem parametrów technologicznych. Wyniki eksperymentu wskazują, że wraz ze zwiększeniem posuwu ($f=0,05$ do $0,2\text{ mm/obr}$) dla $a_p=0,1$ i $0,2\text{ mm}$ dla całego zakresu stosowanej prędkości skrawania ($v_c=150\div 300\text{ m/min}$) moc skrawania wzrasta około dwukrotnie (rys. 3a, 3b). Największy wzrost poboru mocy zaobserwowano dla $a_p=0,3\text{ mm}$ (rys. 3d), ponieważ wraz ze wzrostem posuwu ($f=0,05$ do $0,2\text{ mm/obr}$) dla $v_c=300\text{ m/min}$ moc skrawania wzrosła ponad trzykrotnie (rys. 3c).

Kolejny etap eksperymentu obejmował nagniatanie toczne powierzchni próbki ze stali utwardzonej (HT+B). Do największych zalet nagniatania należą: wysoka wydajność obróbki, możliwość uzyskania powierzchni o małej chropowatości, umocnienie warstwy wierzchniej, podwyższenie odporności na zużycie ściernego materiału obrabianego, wysoka trwałość narzędzi nagniatających oraz możliwość stosowania głowic nagniatających na uniwersalnych obrabiarkach skrawających [6]. Otrzymane wyniki wskazują, że po nagniataniu powierzchni wartości parametrów chropowatości R_a i R_z były mniejsze o około 50-60% w stosunku do ich wartości zmierzonych przed nagniataniem (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie wartości parametrów chropowatości Ra i Rz

Szacuje się, że moc skrawania wynosi do 30% całkowitej mocy obrabiarki, a w przypadku urządzeń wyposażonych w dodatkowe agregaty (np. chłodzenie pod wysokim ciśnieniem) moc ta wynosi nawet poniżej 15% [2]. Moc skrawania wymagana do usunięcia nadmiaru materiału podczas toczenia na twardo (HT1÷HT3) stanowi około 20÷30% mocy całkowitej używanej przez obrabiarkę. Natomiast moc użyta do nagniatania stali utwardzonej (B1÷B3) stanowi około 2÷4% całkowitej mocy (rys. 5).



Rys. 5. Porównanie wartości mocy i energii

Pomimo, iż nagniatanie wymaga udziału niewielkiej ilości mocy obrabiarki, to w porównaniu do toczenia wypada niekorzystnie pod względem energochłonności. Na niekorzystny bilans energetyczny nagniatania wpływa przede wszystkim niska prędkość procesu. Skutkuje to znacząco dłuższym czasem operacji nagniatania w porównaniu do toczenia, a wysoka wartość mocy stałej (niezbędnej do utrzymania maszyny w gotowości operacyjnej) powoduje wyższe zużycie energii. Można zauwa-

żyć również, iż zwiększenie wartości posuwu w toczeniu korzystnie wpływa na całkowite zużycie energii przez obrabiarkę, ale powierzchnia obrobiona jest bardziej chropowata. Rys. 5 potwierdza również konieczność właściwego przygotowania powierzchni do nagniatania, tak aby bilans energetyczny procesu był najbardziej korzystny (przykładowo korzystne połączenie operacji HT3 i B3).

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, że wydatek energetyczny wzrasta wraz ze wzrostem technologicznych parametrów skrawania. Największy wzrost mocy skrawania można zaobserwować podczas obróbki z największą głębokością skrawania ($a_p=0,3$ mm) oraz z największą prędkością skrawania ($v_c=300$ m/min). Można zauważyć również, że naganianie toczne wymaga niewielkiej ilości mocy, co przekłada się na minimalne obciążenie obrabiarki. Nagniatanie umożliwia znaczne obniżenie parametrów chropowatości, jednakże w ujęciu energetycznym wypada mniej korzystnie niż toczenie wykańczające stali utwardzonej.

LITERATURA

- [1] KOTT J., KOTT M., SZALBIERZ Z., *Wskaźniki energochłonności w przemyśle*. Zarządzanie i finanse, Gdańsk, nr 1, cz. 2, 2012, s. 585-593.
- [2] HONCZARENKO J. *Ekologiczne obrabiarki*. Mechanik, nr 5-6, 2012, s. 371-376.
- [3] GRZESIK W.: *Podstawy projektowania i optymalizacji ekologicznych procesów obróbki skrawaniem*. Mechanik, nr 3, 2013 s.153-165.
- [4] DUFLOU J.R., SUTHERLAND J.W., DORNFELD D., *Towards energy and resource efficient manufacturing: A process and system approach*. CIRP Annals-Manufacturing Technology 61/2 (2012), 587 ÷ 609.
- [5] www.polesef.org - Program Finansowania Energii Zrównoważonej w Polsce.
- [6] GRZESIK W., ŻAK K., PRAŻMOWSKI M., Surface integrity of hard turned parts modified by ball burnishing. Journal of Machine Engineering, Vol. 12, No. 1, 2012.